

УДК 543.42

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО АТОМНО-АБСОРБЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА С-600 С КОРРЕКЦИЕЙ ФОНОВОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПО ЭФФЕКТУ ЗЕЕМАНА

*В.И.Меньшиков**Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН
664033, Иркутск, Фаворского, 1а
mensh@igc.irk.ru*

Поступила в редакцию 7 февраля 2005 г.

Для улучшения аналитических возможностей спектрометра С-600 (Selmi, Украина) с коррекцией неселективного поглощения по эффекту Зеемана выполнен ряд усовершенствований прибора: увеличение напряженности магнитного поля в атомизаторе; введение новой схемы коммутации тока электромагнита с целью получения стабильной и увеличенной паузы магнитного поля (1,5 мс), согласованной со временем измерения сигнала абсорбции; введение отдельного электронного канала регистрации величины неселективного поглощения, с возможностью одновременной регистрации величин зеемановской и фоновой абсорбции в аналоговом виде; введение камеры для графитовой печи с автоматическим режимом обдува инертным газом, включая и режим «газ-стоп» на стадии атомизации; введение автономного водяного охлаждения токонесущих контактов атомизатора с использованием циркулярного термостата.

Для ряда элементов определены величины отношений зеемановской абсорбции к нормальной абсорбции и контрольные характеристические массы аналита (масса элемента, дающая пик абсорбции в 0.2 единицы оптической плотности). Сделан вывод, что после модернизации спектрометр С-600 по метрологическим характеристикам аналитического сигнала сопоставим с другими приборами подобного класса, имеющими близкие по размерам графитовые печи.

Меньшиков Виталий Иванович - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий химико-аналитической лабораторией Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

Область научных интересов: атомно-абсорбционный анализ горных пород и других природных и техногенных сред, исследование форм нахождения химических элементов в природных и синтетических материалах методом совмещения термического и атомно-абсорбционного анализов.

Автор более 100 опубликованных работ.

Атомно-абсорбционный анализ с электротермической атомизацией элементов при определении ультранизких концентраций в различных объектах занимает в аналитике определенную нишу. Перспективным направлением в развитии этого метода остаются учет неселективного поглощения, основанный на эффекте Зеемана, поперечный и быстрый нагрев графитовой печи. Эти решения позволяют корректно учитывать неселективное поглощение, что позволяет анализировать сложные по составу пробы, значительно снизить эффект памяти печи, повысить отношение сигнал/шум, улучшить чувствительность определений, снизить задаваемую температуру на стадии атомизации. Многие коммерческие приборы строятся с учетом этих новаций.

Указанные перспективные тенденции заложены и в атомно-абсорбционном спектрометре С-600 (Selmi, Украина). В приборе С-600 учет неселективного поглощения основан на обратном эффекте Зеемана в продольном магнитном поле с чередующимися паузой и максимальным значением магнитного поля. Малая масса графитовой

печи с поперечным нагревом и достаточно эффективный блок питания нагрева печи со стабилизацией рассеивающейся на печи мощности, позволяют получить контролируемую и достаточно высокую скорость нагрева. Режим нагрева печи и регистрация сигнала абсорбции задаются программой и контролируются микропроцессором. Кроме двух высоких скоростей нагрева печи возможен также нагрев по линейному закону на заданное время. Программа позволяет задать до десяти последовательно выполняемых шагов нагрева печи. Прибор регистрирует на цифровом табло амплитудное и интегральное значения сигнала в единицах оптической плотности (белл - Б), а при введении в память контроллера значения стандарта можно получить результат в единицах концентрации. Графитовая печь длиной 10 мм и внутренним диаметром 5 мм помещена в воздушный промежуток магнитопровода электромагнита переменного тока параллельно магнитным силовым линиям (соосно оптической оси) и зажимается с боков двумя графитовыми контактами. Электромагнит и весь прибор питается сетевым напряжением 220 В. Частота следования световых импульсов от лампы с полым катодом (ЛПК) составляет 200 Гц, а частота измерения разностного сигнала (зеemanовского) составляет 100 Гц. Работа прибора синхронизирована с сетевым напряжением в каждый полупериод. Диапазон регистрации сигнала абсорбции на цифровом выходе составляет 1 Б. Наши измерения (с помощью оптических фильтров) показали что, при регистрации сигнала на аналоговом выходе этот диапазон составляет не менее 1.5 Б. Этого диапазона достаточно для решения большинства задач при определении элементов в сложных матрицах, поскольку измерения сигнала при фоновых плотностях больших 1 Б становятся проблематичными из-за большого уровня шумов.

Тем не менее, прибор С-600 имеет ряд недостатков (скорее всего, не законченных решений), которые ограничивают сферу его применения. Во-первых, в приборе отсутствует отдельный канал регистрации фонового поглощения, т.е. канал, соответствующий измерению абсорбции в максимуме напряженности магнитного поля. Оценки уровня фонового сигнала и его кинетики необходимы в методических работах, например, при выборе температурных программ и химических модификаторов для оценки соответствия суммарного сигнала поглощения динамическому диапазону регистрации. Во-вторых, в нашем приборе (1993 г. выпуска) мы обнаружили очень низкое отношение сигналов зеemanовской абсор-

бции A_z и обычной абсорбции A_n (например, для линии Au 242.8 нм отношение A_z/A_n составило всего 0,35). Мы установили, что главной причиной этого является низкое значение магнитной индукции B , создаваемой электромагнитом. Необходимо было увеличить значение B . Кроме этого, в настоящее время существуют технические решения, позволяющие увеличить паузу магнитного поля (по сравнению с заложенной в приборе С-600) и вместе с увеличением B улучшить условия регистрации разностного сигнала. В-третьих, для практического применения прибора, безусловно, необходимо было ввести систему обдува печи инертным газом, создав для этого камеру для печи, которые не были предусмотрены в приборе. И, наконец, отсутствие водяного охлаждения токонесущих контактов атомизатора (предусмотрено воздушное) причиняет большие неудобства в работе, увеличивает время на проведение анализов, ведет к неконтролируемым условиям введения пробы в печь.

После решения перечисленных выше проблем, выполненных в лабораторных условиях, мы оценили аналитические возможности прибора С-600. Исследования выполнены для ряда элементов на простых (чистых) пробах, поскольку этот прием является стандартным для характеристики приборов. Решение аналитической проблемы при определении элементов в конкретных матрицах является отдельной задачей.

Таким образом, работа состоит из двух частей. В первой части приведены решения для улучшения некоторых инструментальных характеристик прибора С-600, а во второй части приведены полученные аналитические возможности этого прибора для ряда элементов, представляющих для автора определенный интерес.

Совершенствование некоторых инструментальных характеристик прибора

Канал регистрации неселективной абсорбции

Как отмечалось выше, этот канал необходим для оценки уровня фонового поглощения и его кинетики. Он собран нами на той же элементной базе, на которой построен прибор. Дополнительная плата, включающая три микросхемы, имеет размеры 50×90 мм² и размещена в непосредственной близости от платы обработки сигнала (БОС) прибора. Здесь уместно отметить, что мы уменьшили время регистрации сигналов (длительность световых импульсов) от 1.8 мс до 1.2 мс, поскольку установленная в приборе длительность в 1.8 мс слишком велика для выбранного

режима питания электромагнита. Мы снизили также постоянную времени канала регистрации зеемановского сигнала в два раза (плата БОС),

поскольку схема не успевала реагировать на достаточно быстрые процессы. Электрическая схема дополнительного канала приведена на рис. 1.

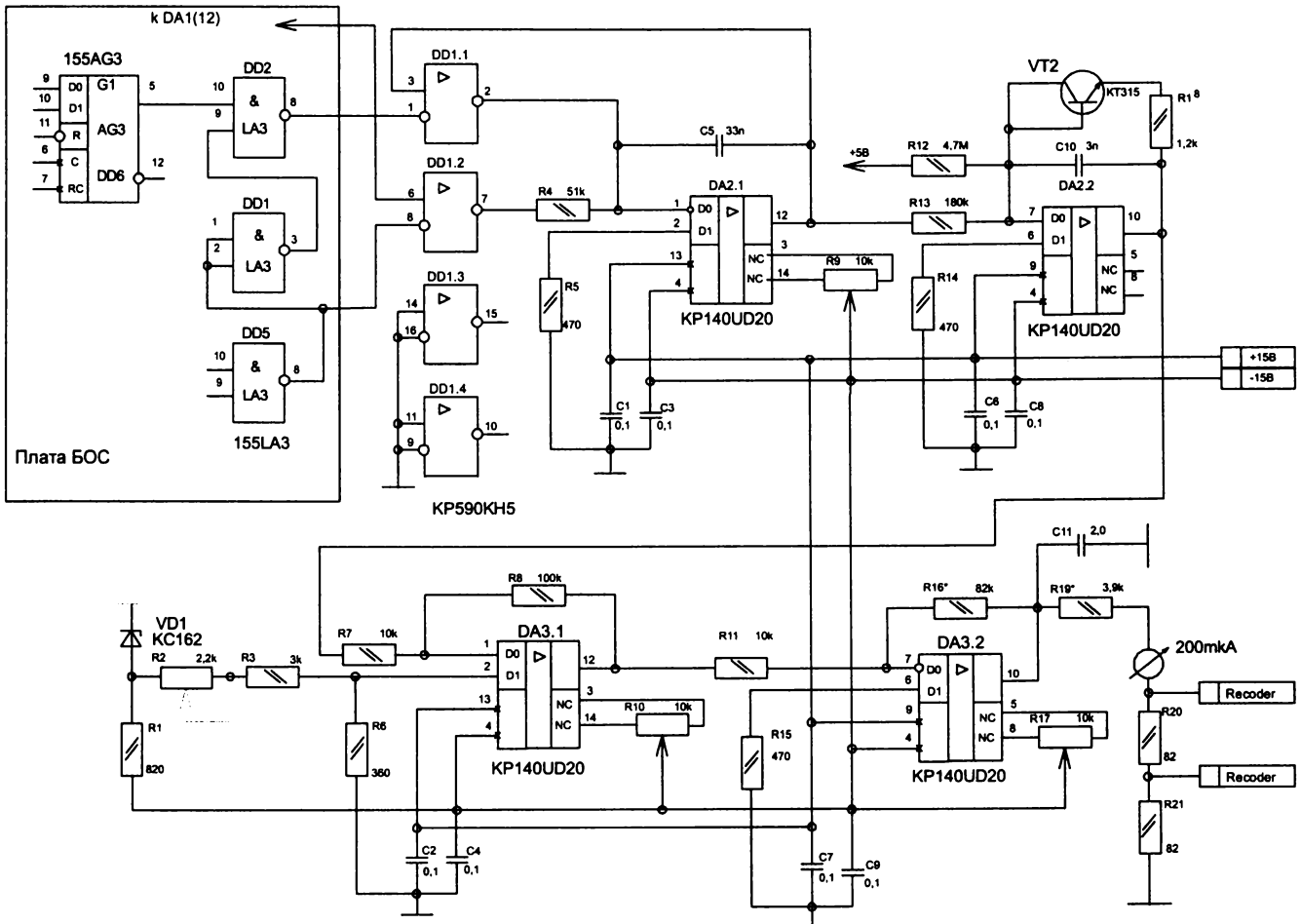


Рис. 1. Схема канала регистрации величины неатомного поглощения

Сигнал, соответствующий по фазе измерению в максимум напряженности магнитного поля, снимается с ячейки DD5 и с помощью аналогового ключа DA1.2 выделяет соответствующий сигнал от фотоумножителя (ФЭУ) после его усиления. Этот сигнал поступает на вход интегратора, собранного на DA2.1. Элементы DD1, DD6, DD2 (DD2 свободная ячейка на плате БОС) обеспечивают разряд емкости интегратора через аналоговый ключ DA1.1 с приходом очередного импульса от ФЭУ. Напряжение на выходе интегратора меняется от 7 В (не поглощенный световой сигнал, соответствующий начальной настройке) и до нуля (световой пучок перекрыт полностью). На DD2.2 собран простейший логарифмический усилитель. Напряжение на выходе этого каскада меняется от -1.20 В до -1.05 В. Для стабильной работы этого усилителя при нулевом сигнале на транзистор введено смещение по току. Для компенсации постоянного смещения и усиления сигнала служит каскад на DA3.1. Компенсация по-

стоянного смещения и тем самым установка нуля регистрирующего прибора осуществляется подачей смещения на неинвертирующий вход и регулируется сопротивлением R_z . Напряжение на выходе этого каскада меняется от нуля и до -1.3 В. Инвертирующий каскад DA3.2 служит для выбора подходящего коэффициента усиления для выбранной нагрузки и регистрации сигнала абсорбции положительной полярности от начала шкалы самописца (10 мВ). Постоянная времени регистрации канала не превышает 0.05 с. Практически целесообразно включить также стрелочный индикатор, проградуированный в единицах оптической плотности, по которому можно судить о настройке прибора при любом режиме его работы. Динамический диапазон регистрации в единицах оптической плотности канала составляет не менее 1 Б, а коэффициент нелинейности зависимости «абсорбция - показания самописца» не превышает 10 %, что достаточно для оценки фонового поглощения. Мы регистрировали сигнала

лы зеемановской абсорбции и неатомной абсорбции, используя два канала четырехканального самописца ID-4 (RIKADENKI KOGYO, JAPAN). Класс точности самописца составляет 0.05 %, а время пробега шкалы не более 0.4 с. В нашем случае каналы регистрации и протяжка ленты самописца автоматически включаются сигналом от спектрометра только на время стадии атомизации.

Измерение величины магнитного поля электромагнита

Магнитное поле количественно характеризуется плотностью магнитного потока (магнитной индукцией B , Тл), которую можно измерить с помощью пробной катушки, помещенной в переменное магнитное поле. Величина B определяется как отношение площади под кривой напряжения, индуцированного в катушке, к сечению катушки и приходящейся на один виток [1]. В случае питания электромагнита сетевым напряжением индуцированное напряжение имеет синусоидальную форму, поэтому:

$$B = \int_0^t U_m \sin \omega t dt / SN. \quad (1)$$

где: U_m - амплитуда индуцированного напряжения (ЭДС), В; S - площадь сечения пробной катушки, м²; N - число витков катушки; ω - круговая частота, $\omega = 2\pi f$; f - частота сетевого напряжения, с⁻¹. Для практических расчетов находят индукцию за время достижения индуцированной ЭДС ее максимального значения, т.е. за четверть периода. Тогда, после интегрирования, выражение (1) примет вид:

$$B = U_m / 2\pi f S N. \quad (2)$$

Задача определения магнитной индукции сводится к измерению величины U_m , которую можно измерить с помощью осциллографа. Например, для катушки из четырех витков, намотанных на магнитопровод электромагнита вблизи усечения полюсов (6.5×3.5 см²) нашего прибора, значение U_m , измеренное с помощью осциллографа С1-55, составило 1.2 В. Расчет по (2) дает $B = 0.42$ Тл. Это значение вдвое меньше необходимого для приемлемой степени подавления с компоненты линий большинства элементов ($B = 0.8$ Тл) [2-5], обычно закладываемое в современных приборах. Низкое значение величины напряженности магнитного поля ведет к снижению чувствительности определений и к не оптимальным условиям регистрации зеемановского сигнала. Ниже мы покажем, что магнитная индукция в воздушном промежутке (в атомизаторе)

имеет еще меньшее значение.

Увеличение магнитной индукции

Электромагнит переменного тока можно представить (для качественного рассмотрения) как однофазный трансформатор, работающий на холостом ходу. Для трансформатора максимальное значение магнитной индукции $B_{тр}$ в магнитопроводе описывается выражением [6]:

$$B_{тр} \approx V_m / \omega N_1 S_{тр}, \quad (3)$$

где V_m - амплитудное значение напряжения, подведенное к первичной обмотке; N_1 - число витков первичной обмотки трансформатора; $S_{тр}$ - поперечное сечение магнитопровода трансформатора.

Из выражения (3) следует, что при заданной конструкции электромагнита магнитное поле можно увеличить за счет повышения питающего напряжения, а также уменьшая число витков питающей обмотки. Эти решения ведут к повышению тока в обмотке электромагнита, точнее к возрастанию числа ампервитков, определяющих величину напряженности магнитного поля. Для электротехнической стали магнитопровода зависимость между напряженностью поля и магнитной индукцией, при изменении последней в пределах 0.4-0.8 Тл, близка к линейной [1].

Предпочтительным решением было бы увеличение питающего напряжения, но это требует дополнительного источника переменного напряжения. Ограничением второго подхода является приемлемая плотность тока в обмотке электромагнита. Оценки показывают, что потери магнитной индукции в магнитопроводе электромагнита по сравнению с индукцией в магнитопроводе «обычного» трансформатора (за счет воздушного промежутка и усеченных полюсов первого) составляют около четырех раз. Выражения (2) и (3) эквивалентны, но (3) описывает уже процесс получения магнитного поля.

Поскольку эффективное значение тока $I_{эфф}$ в нашем электромагните при магнитной индукции, равной 0.42 Тл, было не велико (7.5 А), мы приняли второе решение. Было снято с обмотки электромагнита 124 витка (начальное количество витков нам не известно, но по объему намотки снятые витки составляют примерно половину). При этом магнитная индукция, измеренная пробной катушкой на магнитопроводе, составила 0.88 Тл при питающем напряжении $U_{эфф} = 220$ В и значении тока $I_{эфф} = 30$ А. Это, по-видимому, предельная величина для данного магнита при данном питающем напряжении и полученной плотности тока (9.5 А/мм²) даже в условиях кратковре-

менного включения электромагнита (5-15 с).

Получение паузы магнитного поля

Для коррекции с использованием эффекта Зеемана важно также измерять сигнал при нулевом магнитном поле. При синусоидальной форме поля авторы [2] измеряли атомное поглощение за очень короткое время (40 мкс), а для улучшения условий измерения увеличивали время измерения, получая паузу поля питанием электромагнита однополупериодным напряжением [3], а также получали паузу тока (тем самым и поля), включением обмотки электромагнита через тиристоры специальным образом [4].

В приборе С-600 обмотка электромагнита включается через симистор ТС-142-80-6. При этом запускающий импульс симистора формируется в начале каждого полупериода сетевого напряжения и присутствует на управляющем электроде на протяжении всего полупериода в виде высокочастотных колебаний генератора (угол отпираания 90°), и ток электромагнита при этом имеет форму синусоиды. Небольшая пауза тока, обусловленная большим временем включения симистора ТС-142-80-6, есть (0.2 мс), но она слишком мала по сравнению со временем измерения сигнала и нестабильна.

Известно [7], что при работе симистора на индуктивную нагрузку можно получить паузу тока, если угол отпираания симистора будет больше 90° по отношению к питающему напряжению. Мы изменили в приборе схему запуска симистора электромагнита. Симистор запускается спустя 5.6 мс после начала полупериода (угол отпираания 101°) коротким импульсом (0.4 мс). При этом симистор ТС-142-80-6 был заменен на симистор ТС-122-25-12, который характеризуется малым временем включения, легко запускается на индуктивную нагрузку и дает в выбранных условиях стабильную паузу тока длительностью 1.5 мс при токах $I_{эфф}$ от 8 до 30 А (симистор надежно работает с небольшим превышением номинального тока). Симистор ТС-122-25-12 ставится на тот же радиатор через переходную гайку. Схема запуска симистора приведена на рис.2. На этой схеме VT - дополнительный элемент, на котором выбирается момент запуска симистора по срезу импульса модуляции ЛПК (DD3.4, фаза паузы поля), а DD2.4 - свободный элемент на плате БОС. На плате обратной связи изменения сводятся лишь к изменению включения тех же элементов DD2.3, DD2.4, DD4. На рис.2 сигнал управления электромагнитом (УПР ЭМ) имеет высокий уровень.

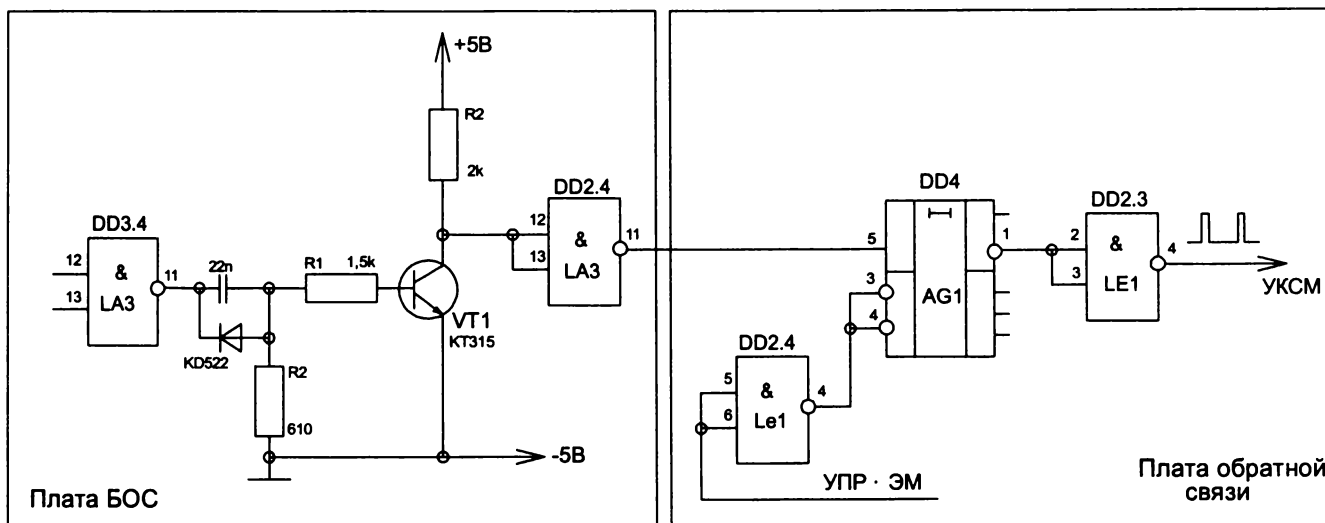


Рис. 2. Новая схема запуска электромагнита

На рис.3 приведены осциллограммы питающего напряжения, тока в обмотке магнита, напряжения на пробной катушке (4 витка на магнитопроводе) и сигналов ФЭУ, полученные последовательно на двухлучевом осциллографе С1-55. Ток имеет паузу длительностью 1.5 мс, и его форма определяется в основном суммой первой и третьей гармоник (уменьшение амплитуды тока на 10 % является неизбежной платой за паузу [7]). Крутые фронт и срез на осциллограмме напря-

жения пробной катушки указывают на моменты коммутации тока электромагнита.

Измерение величины магнитной индукции в воздушном промежутке дает наибольшее значение в центре промежутка (катушка диаметром 5.7 мм, 22 витка, длина намотки 10 мм, соосно оптической оси). При удалении к периферии индукция уменьшается и для катушки диаметром 12 мм измеренная индукция уже меньше на 20 %. Если магнитная индукция, измеренная катуш-

кой на магнитопроводе при токе 30 А составила 0.88 Тл, то наибольшая магнитная индукция в воздушном промежутке при этом токе составила 0.71 Тл. По-видимому, это уменьшение обусловлено рассеиванием магнитного поля в отсутствии магнитопровода. Таким образом, нам удалось получить для данного магнита в атомизаторе магнитное поле с индукцией 0.7 Тл. Случайная погрешность при определении величины B определяется, главным образом, погрешностью измерения ЭДС индукции и, по нашим оценкам, не превышает 6 %.

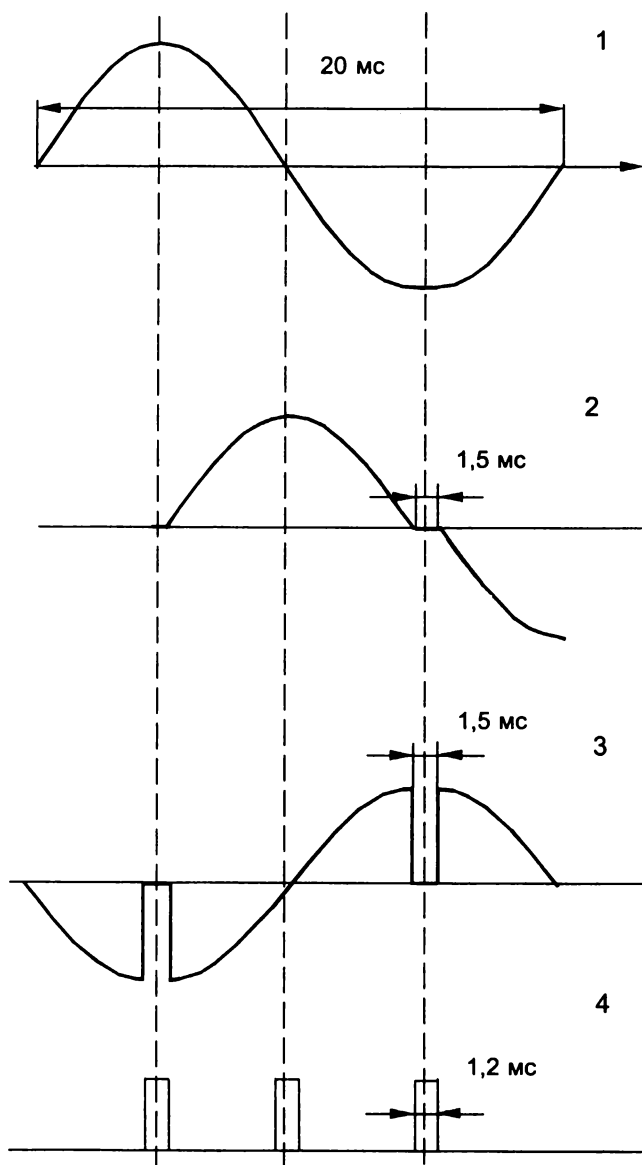


Рис. 3. Осциллограммы: 1 - питающее напряжение; 2 - ток в обмотке электромагнита; 3 - ЭДС на пробной катушке, помещенной на магнитопровод; 4 - сигналы ФЭУ (источника света, ЛПК)

На рис. 4 приведены осциллограммы сигнала с пробной катушки, помещенной в разрыв магнитопровода (18 мм), и сигнала ФЭУ. Из рисунка следует, что в воздушном промежутке напряже-

ние индукции меняется медленней при коммутации тока, чем в магнитопроводе. Следует также, что срез импульса ФЭУ (конец измерения в паузу поля) «жестко связан» с началом роста магнитного поля. Обмотка электромагнита зашунтирована цепочкой последовательно соединенных конденсатора и сопротивления (1 мкФ, 47 Ом в нашем случае).

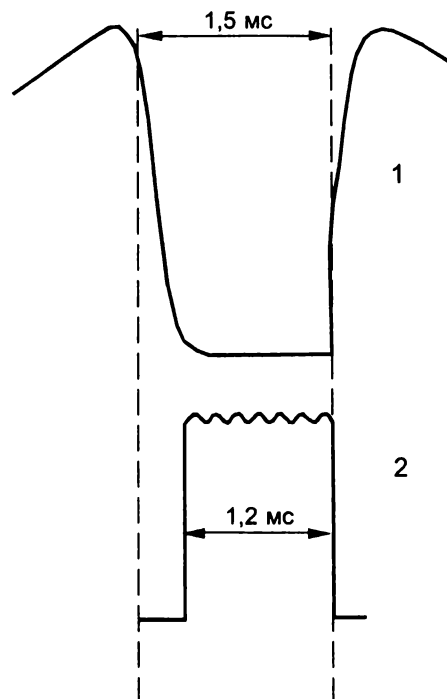


Рис. 4. Осциллограммы: 1 - ЭДС на пробной катушке, помещенной в воздушный промежуток магнитопровода электромагнита; 2 - сигнал источника света, ЛПК

Поскольку работа прибора в режиме атомизации сопровождается большим отбором мощности, определенные требования предъявляются к питающей сети. По этой же причине нам пришлось увеличить сечение сетевых проводов прибора.

Обдув атомизатора инертным газом

Система обдува инертным газом поставлена с помощью фирмы ООО «Selmi-K». Она включает камеру для атомизатора из немагнитного металла и схему управления пневмоклапаном. Обдув включается автоматически только на время термической обработки пробы с задержкой выключения обдува на время остывания атомизатора, а расход газа устанавливается по ротаметру.

Мы дополнительно герметизировали камеру и уменьшили ее объем с помощью графитовых вкладышей. С этой же целью поставили кварцевые окна в оптический канал магнитопровода магнита. Усовершенствованием схемы управления пневмоклапаном была введена возможность

включать режим остановки газа на стадии атомизации. Опыт работы показал, что время «жизни» графитовой печи мало отличается от времени ее работы в атомизаторах других типов и составляет несколько сотен циклов нагрева.

Охлаждение токонесущих контактов

Нами введено автономное водяное охлаждение металлических токонесущих контактов питания атомизатора с использованием циркулярного термостата VT-12 (ООО «ТЕРМЭКС-2», г.Томск). Это позволяет уменьшить паузу между циклами анализа до 30-40 с и получить воспроизводимые температурные условия при введении пробы (44 °С).

Аналитические возможности спектрометра С-600

Атомная абсорбция элемента в печи, помещенной в продольное магнитное поле, определяется σ -компонентой спектральной линии и уменьшается с ростом величины магнитного поля. Зеемановская абсорбция при этом определяется выражением [5]

$$A_z = \lg(I_\sigma/I_{H=0}),$$

где I_σ - интенсивность сигнала σ -компоненты линии не способной (почти не способной) к атомному поглощению; $I_{H=0}$ - интенсивность сигнала линии в отсутствии магнитного поля.

На рис. 5 приведена зависимость изменения атомной абсорбции σ -компонентой от величины магнитного поля для линии Ag 328,1 нм, полученная для данного прибора с использованием канала регистрации неатомного поглощения.

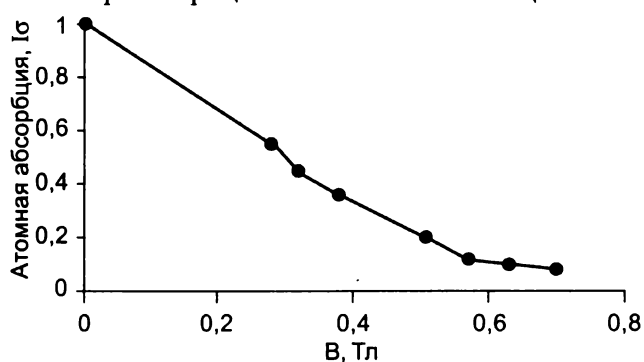


Рис. 5. Нормированная к единице атомная абсорбция σ -компонентой для линии Ag 328,1 нм в зависимости от величины магнитного поля

Из этого рисунка видно, что при $B = 0,7$ Тл абсорбция σ -компонентой составляет порядка 10 % от абсорбции в отсутствии магнитного поля (нормальной абсорбции A_n). Таким образом, отношение зеемановского сигнала к сигналу нормальной абсорбции составит для Ag 328,1 нм порядка 0,90.

Подобные отношения для некоторых других элементов, полученные как отношения сигналов с магнитным полем A_z к сигналам без наложения поля A_n , приведены в таблице.

Таблица

Величины отношений зеемановского сигнала к сигналу нормальной абсорбции (A_z/A_n) и «типичные» массы элементов (контрольные характеристические массы), дающие амплитудный сигнал величиной 0,2 Б

Элемент	λ , нм	Ширина щели, нм	Контрольная характеристическая масса элемента, нг	A_z/A_n
Ag	328,1	0,6	0,12	0,90
Au	242,8	2,0	0,55	0,85
Co	240,7	0,6	0,52	0,85
Cr	357,9	0,6	0,25	0,85
Cu	324,8	0,6	0,92	0,60
Fe	248,3	0,6	0,15	0,90
K	766,5	2,0	0,06	0,65
Na	589,6	2,0	0,015	0,90
Ni	232,0	0,6	0,56	0,90
Pb	283,3	0,6	0,60	0,80
Pd	244,8	0,6	1,2	0,90
Pt	265,9	0,6	12	0,75

В этой же таблице приведены «типичные» массы элементов, дающие сигналы величиной 0,2 Б при амплитудной регистрации сигналов, характеризующие чувствительность определений для данного прибора. Сравнение этих полученных «типичных» величин с подобными величинами, например, для спектрометра GTA (Varian) показывает, что они всего в 2-3 раза больше. Разница является, в основном, следствием разных размеров графитовых печей и, по-видимому, в большинстве решаемых аналитических задач не будет иметь определяющего значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1982. 520 с.
2. De Loos-Vollebregt M.T.C. Construction and performance of an a.c. modulated magnet for Zeeman atomic absorption spectroscopy / M.T.C.de Loos-Vollebregt, L.de Galan

- // Spectrochimica Acta. Part B. 1980. V.35. P.495-506.
3. Fernandez F.J. Correction for high background levels using the Zeeman effect. / F.J.Fernandez, W.Bohler, M.M.Beaty, W.B. Barnett // Atomic spectroscopy. 1981. V.2, №3. P.73-79.

4. Van Uffelen J.W.M. An improved power supply for the magnet in a.c. modulated Zeeman atomic absorption spectrometry / J.W.M.van Uffelen, M.T.C.de Loos-Vollebregt, L. de Galan // Spectrochimica Acta. Part B. 1982. V.37, № 6. P.527-531.
5. De Loos-Vollebregt M.T.C. Zeeman atomic absorption spectrometry / M.T.C. de Loos-Vollebregt and L.de Galan // Prog. analyt. atom. Spectrosc. 1985. V.8. P.47-81.
6. Кацман М. М. Электрические машины. М.: Высшая школа, 1990. 463 с.
7. Бруфман С. С. Тиристорные переключатели переменного тока. / С.С.Бруфман, Н.А.Трофимов. М.: Энергия, 1969. 64 с.

* * * * *

ANALYTICAL POTENTIALS OF THE MODERNIZED ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETER C-600 WITH BACKGROUND CORRECTION BASED ON THE ZEEMAN EFFECT

V.I.Men'shikov

Some modifications have been made for spectrometer C-600 (Selmi, Ukraine) with background correction, based on the Zeeman effect. Those modifications include:

- *increase of the magnetic field strain;*
- *introduction of the new ac magnet current commutation electronic scheme for obtaining stabilized and increased magnetic field pause (1,5 ms), matched with the absorption signal measurement time interval;*
- *introduction of the allocated analog electronic channel for background absorption record with the capability of the simultaneous Zeeman and background absorption registration on-line;*
- *introduction of the graphite furnace chamber and the automatic noble gas flow of the furnace, which is activated only during the furnace heating cycle and with capability to enter "gas-stop" on atomization cycle;*
- *introduction of the off-line equipment for liquid cooling of the atomizer current contacts as a circulatory thermostat.*

Relative sensitivity, Zeeman atomic absorption v.s. standard atomic absorption is determined for some elements. Controlled masses of these elements for 0,2 absorbance unit are determined as well. Conclusions that modernized atomic absorption spectrometer C-600 can be compared by metrology with others spectrometers, which have a small graphite tubes have been made.
